



**GRUPO II
GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS - GPT**

ESTUDO DA IMPLEMENTAÇÃO DE CENTRAIS TERMELÉTRICAS A LIXO NO BRASIL

Paulo Cesar Marques de Carvalho * José Osvaldo B. Carioca João J. Hiluy Filho Sandro César S. Jucá

UFC

UFC

UFC

UFC

RESUMO

A preocupação mundial com a poluição ambiental, provocada entre outros fatores pela destinação inadequada dos chamados resíduos sólidos urbanos (RSU), acontece simultaneamente com a expectativa de atender a uma demanda energética crescente notadamente nos países em desenvolvimento. No intuito de contribuir para a solução destas questões ambientais e energéticas, estão sendo implementadas, cada vez mais, as centrais termelétricas a lixo (CTL). O presente trabalho analisa as vantagens desta tecnologia, relata as experiências na Europa, Estados Unidos e Japão e aponta perspectivas para o uso de tais centrais no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE

Termelétrica, Geração, Incineração, Resíduos.

1.0 - INTRODUÇÃO

Segundo a sua origem, o lixo urbano pode ser classificado em quatro grandes categorias (1):

- Doméstico: gerado em residências e moradias em geral;
- Comercial e industrial: gerado em fábricas, indústrias e estabelecimento comerciais;
- Público: gerado em feiras livres, varrição de ruas e restos de processos de construção;
- Fontes especiais: gerado em hospitais, laboratórios, farmácias, quartéis, estações de tratamento de esgoto e aeroportos.

A composição típica dos resíduos sólidos urbanos considerados não especiais é dividida em grupos. O grupo 1 é composto por papéis, plásticos, vidros e metais, oriundos de embalagens; o grupo 2 por material orgânico, oriundo de restos alimentícios (cascas e sobras) e poda de árvores, têxteis, borrachas; e o grupo 3 por materiais inertes. As participações destes três grupos são de 35%, 60% e 5%, respectivamente, em países ainda em desenvolvimento, e 60%, 35% e 5% nos países desenvolvidos. A inversão percentual dos grupos 1 e 2 entre os países em desenvolvimento e desenvolvidos se deve principalmente ao aumento de alimentos industrializados que amplia a presença percentual de embalagens (2).

Em uma sociedade caracterizada pela elevada concentração de renda e com grandes diferenças regionais e micro-regionais como a brasileira, outros fatores devem também ser levados em consideração, como poder aquisitivo e localização geográfica, numa análise de classificação dos resíduos sólidos urbanos. No caso específico da região Nordeste, a existência de períodos distintos de chuva e de seca exerce também uma influência marcante sobre a caracterização destes resíduos. De maneira geral, a produção de lixo tem sido diretamente associada ao estágio de desenvolvimento de uma região; em geral, quanto mais evoluída, maior o

* Departamento de Engenharia Elétrica – Centro de Tecnologia - Campus do Pici – CP 6001 - CEP 60455-760 – Fortaleza – CE - Brasil

Tel: (085) 3288-9585 - Fax: (085) 3288-9574 - e-mail: carvalho@dee.ufc.br

volume e peso de resíduos e dejetos de todo tipo.

A Tabela 1 apresenta o tempo médio de decomposição dos principais materiais componentes dos RSU (2).

TABELA 1: Tempo médio de decomposição dos componentes dos RSU

COMPONENTES DOS RSU	TEMPO DE DECOMPOSIÇÃO
BIODEGRADÁVEIS	
Restos de alimentos	-
Papel	De 3 a 6 meses
Borracha	De 6 meses a um ano
Vidro	13 anos
NÃO BIODEGRADÁVEIS	
Plástico	Mais de 100 anos
Metal	Mais de 100 anos
Borracha	Tempo indeterminado
Vidro	Um milhão de anos

2.0 - APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

O aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU) deve ser interpretado de modo amplo, levando em conta principalmente o controle da poluição ambiental e a recuperação do potencial energético contido nestes resíduos como fonte de reciclagem e de energia através da incineração do lixo e a conseqüente geração de energia elétrica e/ou vapor. A reciclagem está relacionada ao reaproveitamento energético através da conservação de energia, tendo em vista que os resíduos de papéis, plásticos, vidros e metais podem ser reutilizados como matéria-prima reciclável nas próprias indústrias que os fabricaram. Neste caso ocorre uma economia, pois a energia necessária para obter um produto a partir de material reciclado é bem menor que para produzi-lo a partir da matéria-prima.

As usinas de incineração de lixo com recuperação de energia são unidades onde os RSU são manuseados e submetidos a um processo de combustão a altas temperaturas em incineradores, e o calor resultante é recuperado em caldeiras de recuperação de calor, produzindo vapor de alta pressão e temperatura.

Com relação às experiências mundiais de aproveitamento energético dos RSU, merece menção os Estados Unidos, onde mais de 120 usinas incineram mais de 10% do lixo gerado no país e geram energia suficiente para atender a demanda de mais de um milhão de residências. Também importante é a experiência japonesa, onde 198 usinas incineram aproximadamente 78% de todo o lixo produzido nas cidades. Parcela significativa do aquecimento central das residências de cidades européias como Munique, Zurique, Milão e Amsterdã é proveniente da energia térmica produzida pela incineração de RSU. Em Paris, todo lixo é praticamente incinerado, dentro da própria cidade, fornecendo água aquecida para cerca de 70 mil apartamentos. Nos últimos anos, plantas de incineração de lixo vêm sendo instaladas em países do leste asiático como Coreia, Taiwan, Filipinas, Índia e China.

Para os grandes centros urbanos brasileiros, o poder calorífico do lixo domiciliar, em natura, pode variar entre 1.100 e 1.400 kcal/kg, com teor de umidade de cerca de 60%, podendo ser incrementado com a mistura de lixo industrial, com poder calorífico da ordem de 4.500 kcal/kg (1).

Com base em valores médios do lixo domiciliar dos grandes centros urbanos sul-americanos e considerando as modernas tecnologias de incineração dos RSU, calcula-se uma recuperação de energia entre 300 e 400 kWh/ton de lixo queimado, com um poder calorífico inferior médio na faixa de 1.600 a 1.900 kcal/kg. Visando a viabilidade econômica do projeto, recomenda-se uma capacidade de incineração não inferior a 500 ton/dia, correspondendo ao lixo gerado por uma população de cerca de 700 mil habitantes.

A geração de energia elétrica próxima aos grandes centros urbanos consumidores constitui uma alteração significativa do modelo de geração brasileiro, caracterizado pela centralização. A redução da distância geração – carga traz a vantagem da diminuição das perdas de transmissão de eletricidade, responsáveis por parcela significativa de perdas no atual modelo energético.

No tocante à relação com o meio ambiente, com a introdução das novas tecnologias de triagem, reciclagem e pré-tratamento do lixo, tecnologias de combustão controlada, tecnologias de depuração de gases, controle integrado de processo e monitoramento em tempo real, é possível prever e atingir nas CTL emissões de gases e particulados bem abaixo dos limites estabelecidos pelas normas ambientalistas mundiais mais restritivas.

A Figura 1 apresenta as etapas básicas de operação de uma CTL. A planta é constituída por um centro integrado para o processamento de lixo e para cogeração de energia, sendo composta pelas unidades de Recepção, Triagem e Reciclagem, Destruição Térmica, Cogeração de Energia, Tratamento de Efluentes Gasosos e Tratamento de Efluentes Líquidos (3). A estrutura mostra claramente que a reciclagem é parte integrante do processo. O rejeito da reciclagem e não o lixo deve ser preferencialmente utilizado. Isto porque este rejeito tem melhores características para emprego como combustível, pois apresenta poder calorífico mais elevado e menor umidade. Desta forma, a organização entre os sistemas de coleta e cooperativas de catadores deve ser trabalhada como um componente do processo.

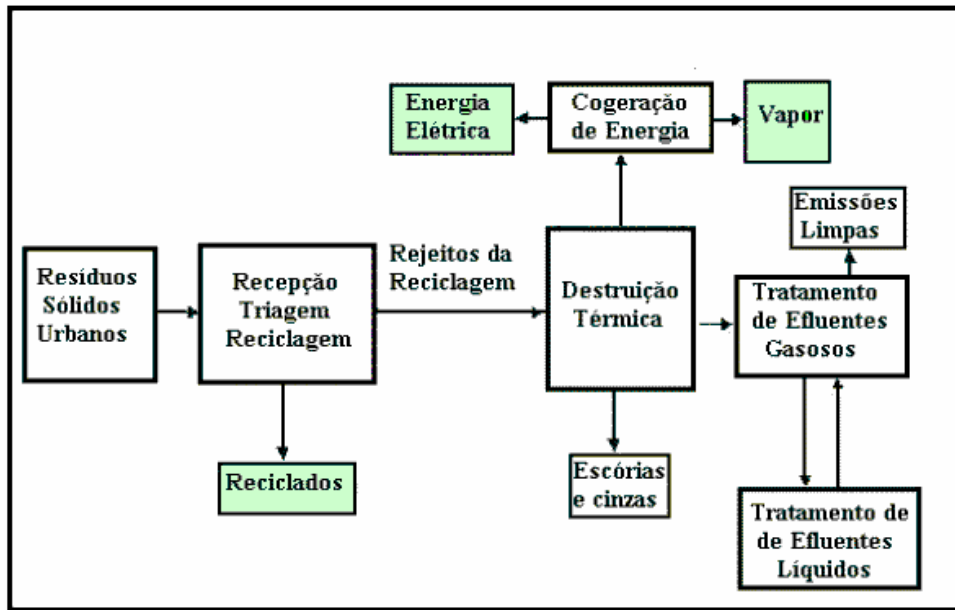


FIGURA 1 – Etapas de operação de uma CTL

A tecnologia da incineração do lixo nas CTLs conta com a existência de uma indústria consolidada, sobretudo em países como Estados Unidos, Japão e a maioria dos países europeus, com incineração de alta tecnologia e baixas emissões de poluentes e larga utilização para tratamento do lixo doméstico, hospitalar e mesmo perigoso. A concepção moderna de incineração controlada de lixo municipal envolve tipicamente duas câmaras de combustão. Este processo caracteriza-se pela recuperação dos gases de escape do processo de combustão, os quais normalmente atingem mais de 1000°C. Esses gases são encaminhados para uma caldeira de recuperação de calor, onde é produzido vapor d'água.

A câmara primária (forno) é a receptora direta do lixo. Nesse dispositivo, a temperatura de operação varia tipicamente entre 500°C e 1000°C. Em todas as configurações, a alimentação de oxigênio nessa câmara é sub-estequiométrica, evitando-se assim gradientes elevados de temperatura. Nessas condições controladas, evita-se a volatilização de grandes quantidades de metais presentes no lixo, como chumbo, cádmio, cromo, mercúrio, entre outros. Além disso, minimiza-se a formação de óxidos nitrosos, que surgem apenas sob temperaturas mais elevadas. Ao final da operação, a parte sólida é reduzida a cerca de 4 a 8 % do volume original e tem o aspecto de cinza, sendo um material totalmente esterilizado e apto para ser aterrado ou mesmo aplicado à construção civil como em tijolos e capeamento de estradas (2).

Já a fase gasosa gerada na câmara primária é encaminhada para a câmara secundária (pós-combustão) como mostra a Figura 2. Nesse caso, a atmosfera é altamente oxidante (excesso de oxigênio) e a temperatura varia entre 1000°C e 1250°C. Agora, os diversos gases gerados na câmara anterior são oxidados a CO₂ e H₂O. Nessa temperatura, a probabilidade de existência de moléculas com grande número de átomos como dioxinas e furanos, compostos altamente nocivos aos seres humanos, é praticamente zero.

O lixo brasileiro é composto, por estimativa conservadora, em média, por 65% de restos alimentares, 25% de papel, 5% de plástico, 2% de vidro e 3% de metais (4). Toda a parte não reciclável, ou seja, os 65% de material orgânico servem como combustível para incineração. No entanto, ambas as câmaras necessitam de injeção de combustível auxiliar, que pode ser gás natural, GLP ou óleo diesel. Vale dizer que os parâmetros de projeto e construção do forno tais como: material refratário, isolante térmico, interface refratário-aço, queimadores, sopradores e a sincronia entre as câmaras são pontos fundamentais para minimizar a quantidade necessária de combustível auxiliar injetado, muitas vezes utilizado somente para a partida do incinerador. Dependendo do poder calorífico do lixo é possível que nenhum combustível seja adicionado.

Os incineradores existentes no mercado atual apresentam grande eficiência de queima com baixo consumo de combustível e baixo teor de emissões. De forma conservadora, os gases que saem da segunda câmara de combustão, apesar da eficiência da queima, carecem ainda de um tratamento adicional, que em muitos casos funciona como uma precaução adicional de segurança.

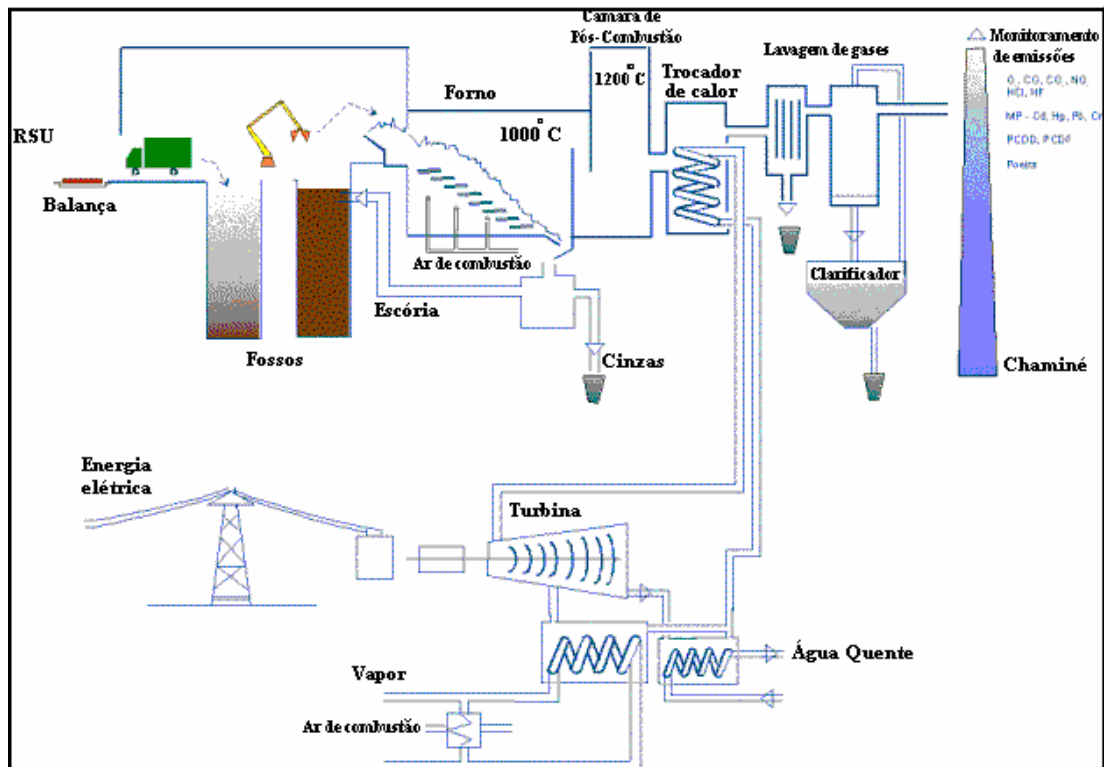


FIGURA 2 – Estrutura de operação de uma CTL

O tratamento desses gases envolve processos físicos e químicos, havendo uma grande variedade de opções de conformação e equipamentos. A primeira etapa consiste em resfriar os gases que saem entre 1000°C e 1200°C da câmara secundária. Nessa etapa, além de resfriarem-se os gases de combustão gera-se vapor d'água que pode ser utilizado na geração de energia elétrica, sistema de aquecimento ou mesmo sistema de refrigeração.

Em seguida, os gases são neutralizados com a injeção de hidróxido de cálcio, altamente eficiente na neutralização e captura de SOx e HCl. Os gases já resfriados e neutralizados passam então por um sistema de filtros (filtros-manga) que retiram o material particulado (fuligem, sais e hidróxido de cálcio) de dimensão de até 0,3 mm. Em algumas conformações utilizam-se outros sistemas, como precipitadores eletrostáticos, lavadores venturi e ciclones.

No final os gases passam por um leito adsorvente, à base de carvão ativado de alta área superficial com três funções:

- Retenção de óxidos nitrosos: evita-se picos de geração de NOx, eventualmente formados por distúrbios na câmara secundária, inibindo que sejam emitidos abruptamente para a atmosfera;
- Retenção de organoclorados: ação preventiva quanto à emissão de dioxinas por algum problema na câmara secundária;
- Retenção de metais voláteis: O material adsorvente atua como uma "peneira molecular" retendo metais voláteis. Tanto por injeção, como através de um leito fixo, o material adsorvente possui comprovadamente altíssima eficiência na retenção de metais.

Nos últimos 10 anos, as modernas usinas termelétricas a lixo ampliaram seus índices de eficiência, particularmente na remoção de duas classes de poluentes: os metais e as dioxinas e furanos. Nos EUA, em 1987, os incineradores eram responsáveis pela geração de 82% das dioxinas no país. Em 2002, esse número caiu para apenas 3%, sem que o total de emissões tenha aumentado significativamente. Na Grã-Bretanha, por exemplo, estudos do Departamento de Saúde mostram que, entre 1990 e 2000, as emissões de chumbo caíram 97% e as de dioxinas caíram 99%. Nos últimos 4 anos, diversas usinas de incineração de lixo inglesas, como a de Edmonton (Londres), emitiram, em média, 0,04 nanogramas/m³ de dioxinas (mais de 3 vezes abaixo do que é exigido pelos limites brasileiros) (2).

3.0 - O QUADRO BRASILEIRO

Historicamente, a matriz energética brasileira para geração de eletricidade foi construída através do uso de hidroelétricas de grande porte. No entanto, a crise ocorrida no abastecimento de energia elétrica no país no início do século deixou explícito o esgotamento do uso desta opção centralizadora, notadamente em regiões carentes

de recursos hídricos como o Nordeste. Como uma das primeiras saídas para a crise coloca-se em evidência a necessidade de uma diversificação na geração de energia elétrica. Dentre as alternativas destaca-se o uso do gás natural, da energia eólica, da biomassa e de pequenas centrais hidroelétricas. Os RSU podem colaborar com esta diversificação, sendo usados como único combustível ou de forma complementar ao gás natural em termoeletricas (5).

Paralelamente, com o novo modelo institucional do setor elétrico, tornou-se possível a produção de energia elétrica a partir do lixo com o envolvimento da iniciativa privada e passaram a ser viáveis parcerias entre empresas e prefeituras. Para as indústrias, existe a possibilidade de um triplice ganho: o acréscimo de uma fonte adicional e permanente de suprimento de energia, tendo, potencialmente, uma alternativa adicional para a disposição dos resíduos não perigosos que geram, além dos ganhos econômicos decorrentes dessa nova forma de geração de energia e disposição de resíduos.

No Brasil, atualmente, a incineração é utilizada somente para resolver a questão da disposição final de resíduos perigosos e parte dos resíduos hospitalares, sem o aproveitamento energético. O país produz cerca de 240 mil toneladas de lixo por dia. Destes 75% são jogados a céu aberto ou lixões, 13% vão para aterros sanitários, 10% para aterros controlados e apenas 2% são reciclados. O lixo dos aterros contribui para a contaminação de águas do lençol freático e de aquíferos, enquanto que os lixões a céu aberto contribuem para a disseminação de doenças e para o efeito estufa, através da decomposição anaeróbica do lixo orgânico que produz uma mistura de gases composta basicamente por dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄), sendo o metano de 20 a 50 vezes mais impactante do que o CO₂ em termos de aquecimento global (2). Além disso, é jogado fora no Brasil, quatro vezes mais materiais que contêm elementos químicos nocivos para o meio ambiente do que em 1995, como pilhas e aparelhos eletrônicos. Portanto, a incineração do lixo já incorpora um caráter não só de geração de energia e vapor, como também de emergência em favor da saúde pública. Por estes motivos, foi aprovada, como impulso favorável para a implementação das CTL no Brasil, a Lei de Crimes Ambientais regulamentada após um ano e sete meses de sua edição pelo Decreto 3.179 publicado em 22/09/99. Essa lei imputa a responsabilidade legal, passível de prisão e/ou severas multas, a todos os responsáveis por danos ao meio ambiente. neste caso particular, os dirigentes do setor público (prefeitos e secretários) são responsáveis pela poluição ambiental decorrente da má disposição final dos resíduos (3).

No caso do estado do Ceará, a origem dos resíduos possui a característica apresentada na tabela 2 (6). Vale salientar que o volume de resíduos coletado pode ser considerado baixo, uma realidade que traz riscos de epidemias e doenças notadamente à população pobre residente na periferia das cidades.

Segundo o mesmo estudo, o estado possui uma coleta diária de lixo de cerca de 4.100 toneladas/dia. Fortaleza apresenta a maior coleta diária do estado, com cerca de 2.654 toneladas/dia, seguido por Juazeiro do Norte com 400 toneladas/dia. Considerando uma relação conservadora para a recuperação de energia (300 kWh/ton), o lixo coletado em Fortaleza é capaz de gerar 286.632 MWh/ano. Isto representa cerca de 12% do consumo de energia elétrica do município no ano de 2002 (7).

TABELA 2: Fontes Produtoras dos Resíduos Sólidos no Ceará

Fonte	Participação (%)
Domiciliar e escolar	45
Industrial, Saúde, Vias públicas, Turismo	20
Construção civil	20
Comércio	7,5
Matadouros, Mercados, Feiras	7,5

A composição física dos resíduos sólidos no estado é apresentada na tabela 3 (6). Observa-se que a parte orgânica do lixo assume um valor percentual intermediário entre os níveis dos países em desenvolvimento que é de 60% e dos desenvolvidos de 35%.

TABELA 3: Composição física dos resíduos sólidos no Ceará

Composição física	Participação (%)
Orgânica	45
Metais	5
Vidros	5
Plásticos	20
Papel e papelão	5
Entulhos da construção civil	20

4.0 - CONCLUSÃO

O reaproveitamento energético nas CTLs se apresenta tanto na etapa de incineração do lixo, onde em ciclo de cogeração de energia, se pode gerar vapor e energia elétrica, como na redução do consumo industrial através da reutilização dos materiais na etapa de triagem e reciclagem. Esse aproveitamento dos materiais recicláveis como insumo pelas indústrias representa redução no consumo de energia, denominada conservação de energia, em virtude de evitar a transformação dos recursos naturais em bens intermediários (polpa de celulose, lingotes de metais, resina plástica, insumos do vidro) a serem utilizados na obtenção de produtos.

Outras vantagens que se apresentam para viabilizar as tecnologias de geração de energia elétrica a partir dos RSU na matriz brasileira são:

- utilização de combustível abundante, descentralizado e praticamente sem custo;
- geração de energia elétrica próxima aos centros urbanos, reduzindo as perdas na transmissão de eletricidade;
- possibilidade de uso combinado com o gás natural, de particular importância para regiões com reservas reduzidas de gás como o Nordeste brasileiro;
- redução drástica da necessidade de espaço para a instalação, sendo desnecessária qualquer agressão ao meio ambiente no sentido de criar novas áreas de aterro;
- diminuição considerável da emissão de gás metano produzida em aterros;
- eliminação dos efeitos de contaminação do lençol freático e dos mananciais de água potável subterrâneos;
- eliminação dos problemas sociais, de higiene e de saúde decorrentes das populações que sobrevivem das catações nos aterros, com a conseqüente eliminação dos custos sociais e hospitalares dos municípios;
- redução drástica nas distâncias a serem percorridas por caminhões para levar o lixo aos aterros cada vez mais distantes, com as conseqüentes agressões por emissões dos veículos, impacto sobre as estradas e trânsito;
- aumento do percentual dos materiais recicláveis durante o pré-tratamento do lixo através do emprego e treinamento de catadores de lixo.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) FARGHALY, MAHMOUD M. (2003) Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos. São Paulo.
- (2) OLIVEIRA, L.B. (2004) Potencial de aproveitamento energético de lixo e de biodiesel de insumos residuais no Brasil; Tese de Doutorado COPPE – UFRJ.
- (3) MENEZES, R. (2003) Centrais Termelétricas a Lixo – Alternativa Segura para Geração de Energia. Grupo Kompac.
- (4) IPT (1998). Lixo municipal – Manual de Gerenciamento integrado – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo.
- (5) LORA, E.E.S., TEXEIRA, F.N. E MARTINS, A.R. (1999) Análise Técnico-Econômica de Diferentes Variantes Para a Recuperação de Energia em Processos de Tratamento Térmico de Resíduos Sólidos Urbanos, Universidade Federal de Itajubá – Kompac.
- (6) IPLANCE. (1999) Mapa da situação dos resíduos sólidos no Ceará - Relatório de pesquisa; Edições Iplance. Ceará.
- (7) COELCE. (2002) Dados sobre o consumo de eletricidade na Região Metropolitana de Fortaleza.